مجله به‌زراعی نهال و بذر
جلد ۲-۳۵، شماره ۱، سال ۱۳۹۸

ارزیابی امکان تعدیل اثر منفی تنش محدودیت آبی بر رشد و عملکرد سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) با تغییر تاریخ کاشت

Assesment of Possibility of Mitigating the Adverse Effect of Water Limitation Stress on Growth and Yield of Potato (*Solanum tuberosum* L.) by Changing Planting Date

علیرضا یزدانی[۱]، سیدعبدالرضا کاظمینی[۲]، حسین غدیری[۳]، علی‌اکبر کامکار حقیقی[۳] و محسن عدالت[۲]

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
۲- دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
۳- استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۲۴

چکیده

یزدانی، ع.، کاظمینی، س. ع.، غدیری، ح.، کامکار حقیقی، ع. و عدالت، م. ۱۳۹۸. ارزیابی امکان تعدیل اثر منفی تنش محدودیت آبی بر رشد و عملکرد سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) با تغییر تاریخ کاشت. **مجله به‌زراعی نهال و بذر ۲-۳۵: ۲۳-** ۱.

به‌منظور مطالعه اثر محدودیت آبی و تاریخ کاشت بر عملکرد و روند رشد سیب‌زمینی رقم سانته در طول فصل، این پژوهش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز اجرا شد. چهار سطح آبیاری شامل ۵۵، ۷۰، ۸۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در کرت‌های اصلی و سه تاریخ کاشت ۲۰ اسفند، ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت در کرت‌های فرعی تصادفی شدند. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر آبیاری بر کلیه صفات، بجز شاخص برداشت، اثر تاریخ کشت و برهمکنش آبیاری × تاریخ کشت نیز بر کلیه صفات معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که تا ۴۸ روز پس از کاشت، ارتفاع بوته و وزن خشک شاخساره افزایش کندی داشت، ولی در فاصله بین ۴۸ تا ۱۰۴ روز پس از کاشت افزایش قابل‌توجهی در این دو صفت مشاهده شد. در اوایل فصل رشد ارتفاع بوته و وزن خشک شاخساره در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند اندکی کمتر از سایر تاریخ‌های کاشت بود، ولی با گذشت زمان و در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند مقدار این دو صفت به‌طور معنی‌داری بیشتر شد. تنش محدودیت آبی باعث کاهش شاخص سطح برگ، تعداد غده در مترمربع، عملکرد غده، عملکرد بیولوژیک و وزن غده‌های بذری و درشت و افزایش وزن غده‌های ریز گردید. در خصوص بیشتر صفات، سطح آبیاری ۱۰۰ با ۸۵ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری نداشت. در شرایط تنش محدویت آبی، اهمیت تاریخ کاشت بیشتر بود، چنانچه در شرایط بدون تنش تفاوت معنی‌داری بین تاریخ‌های کاشت وجود نداشت یا حداقل بود. در حالیکه در شرایط تنش آبی رشد و عملکرد بوته‌های سیب‌زمینی در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند بیشتر بود. به‌طورکلی، نتایج نشان داد که به‌دلیل استفاده بهتر از نزولات جوی، دمای پایین‌تر و تبخیر کمتر در اوایل فصل رشد و دمای مناسب‌تر در زمان غده‌زایی، عملکرد سیب‌زمینی حاصل از تاریخ کشت ۲۰ اسفند بویژه در شرایط تنش محدویت آبی افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: سیب‌زمینی، آبیاری، نیاز آبی، شاخص برگ، عملکرد غده، غده بذری.

نگارنده مسئول: akazemeini@shirazu.ac.ir تلفن: ۰۷۱۳۶۱۳۸۳۷۴

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) پس از برنج، گندم و ذرت به‌عنوان چهارمین محصول غذایی جهان بیشترین تولید جهانی را به خود اختصاص داده است و از نظر تعداد کشورهای تولید کننده در مقام دوم بعد از ذرت قرار دارد (Shock and Feibert, 2002). بیش از نیمی از سیب‌زمینی در کشورهای در حال توسعه تولید می‌شود (Anonymous, 2019).

سیب‌زمینی در ایران نیز گیاه مهمی است و تقریبا در کلیه استناها کشت می‌شود. استان‌های همدان، آذربایجان شرقی، اردبیل، اصفهان، کردستان و فارس از مهمترین تولیدکننده‌های سیب‌زمینی در ایران هستند (Anonymous, 2018). تولید جهانی سیب‌زمینی در سال ۲۰۱۷ برابر با ۳۸۸/۲ میلیون تن از ۱۹/۳ میلیون هکتار (Anonymous, 2019) بود. تولید ایران در سال ۱۳۹۵-۹۶ حدود ۵/۱ میلیون تن از ۱۴۶/۵ هزار هکتار برآورد شد (Anonymous, 2018).

با نگاهی به آینده، سازمان خواربار کشاورزی برآورد کرده است که برای تغذیه جمعیت جهان به ۶۰ درصد غذای بیشتری نیاز است (Shock and Feibert, 2002) و از آنجاکه سیب‌زمینی از نظر ارزش غذائی با تولید بالا یکی از محصولات غذایی مهم می‌باشد، بنابراین با برنامه‌ریزی صحیح، تولید آن می‌تواند افزایش یابد. برای افزایش تولید سیب‌زمینی یا سطح زیرکشت باید افزایش یابد یا عملکرد آن بهبود داده شود که برای هر دو مورد باید راهکارهای بنیادی اندیشیده شود. یکی از این راهکارها بالا بردن میزان کارائی مصرف آب می‌باشد، که بدون برنامه‌ریزی صحیح آبیاری مقدور نمی‌باشد.

شرط دستیابی به عملکرد مناسب سیب‌زمینی وضعیت مطلوب رطوبت خاک است (Wang *et al*., 2007). تحقیقات نشان داده است که گیاه سیب‌زمینی بسیار حساس به تنش خشکی است. زیرا نظام ریشه‌ای این گیاه در لایه کمتر از ۳۰ سانتی‌متر خاک تجمع می‌یابد (Emam and Seghatoleslami, 2011). به‌طورکلی سیب‌زمینی گیاهی حساس به تنش آبی به‌ویژه در مرحله غده‌زایی است. این حساسیت می‌تواند به دلیل ریشه کم عمق سیب‌زمینی با گسترش محدود و ناتوانی آن در جذب آب از اعماق پایین‌تر خاک باشد.کم‌آبیاری یا اعمال تنش خشکی در مراحل پیش از غده‌زایی می‌تواند با کاهش جزئی و قابل قبول در عملکرد سیب‌زمینی باعث صرفه‌جوبی قابل‌توجهی در آب مصرفی در مناطق با محدودیت منابع رطوبتی همراه باشد (Arya *et al*., 2017).

افزایش تولید محصول با استفاده از منابع آبی، نیازمند بکارگیری تاریخ مناسب کاشت است. در هر منطقه یک تاریخ کاشت بهینه وجود دارد که توسط شرایط آب و هوائی، فراهمی زمین، آب آبیاری، بذر، رقم مورد نظر و زمان شیوع آفات و بیماری‌ها تعیین می‌شود (Rawson, 2000). هدف از تعیین تاریخ کاشت بهینه، یافتن زمان کاشت رقم یا گروهی از ارقام است، به‌طوری‌که مجموعه عوامل محیطی حاکم در آن دوره برای سبز شدن،

استقرار و بقای گیاهچه مناسب باشد، و ضمن این‌که گیاه تا حد ممکن در هر مرحله از رشد با شرایط مطلوب روبرو شود و باشرایط نامساعد محیطی نیز مواجه نشود (Khajepour, 2014).

تاریخ کاشت بهینه سیب‌زمینی برای مناطق مختلف بسیار متفاوت است. محدودیت منابع رطوبتی و احتمال وقوع تنش آبی بر تاریخ کشت بهینه تاثیر مهمی دارد. در تاریخ کاشت دیرتر معمولا عملکرد غده کاهش می‌یابد، که می‌تواند به‌دلیل کاهش وزن غده‌های یا مهمتر تعداد غده‌ها باشد. کاهش تعداد غده‌ها در کاشت‌های دیرتر می‌تواند ناشی از همزمانی دمای بالای هوا با مرحله غده‌زایی (Arji *et al*., 2012). هرچه سیب‌زمینی دیرتر کاشته شود، دوره رشد بوته‌ها مواجه با طول روز بلند و دمای بالا می‌شود که تاثیر منفی بر تولید غده دارد، زیرا افزایش دما بیش از ۳۰ درجه سانتی‌گراد برای تولید غده مناسب نیست (Begum *et al*., 2015). همچنین، به‌دلیل کوتاه‌تر شدن طول دوره رشد، غده‌ها فرصت کافی برای رشد را پیدا نمی‌کند، در نتیجه تعداد و وزن غده‌های ریز کمتر می‌شود، که منجر به کاهش عملکرد غده و کاهش ارزش بازارپسندی محصول می‌شود (Tang *et al*., 2018a).

تغییر تاریخ کشت برای استفاده بهینه از بارش‌ها بعنوان منابع رطوبتی خاک و کاهش مصرف آب راهکاری کاربردی برای افزایش بهره‌وری آب است. این موضوع کمتر در پژوهش‌ها مورد توجه قرار گرفته است که نیازمند بررسی‌های بیشتر است. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر منفی تنش کم آبیاری در تاریخ‌های مختلف کاشت بر روند رشد و عملکرد سیب‌زمینی انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی اثر تاریخ کاشت و محدودیت آبی بر رشد و عملکرد سیب‌زمینی آزمایش مزرعه‌ای دو ساله در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز (عرض جغرافیایی ′۷ °۲۹ شرقی و طول جغرافیایی ′۴۶ °۵۲ و ارتفاع ۱۸۱۰ متر ازسطح دریای آزاد) در سال‌های ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه قبل از کاشت در جدول ۱ آمده است. میانگین دما و مقدار بارش ماهانه در طول دوره آزمایش در جدول ۲ و میانگین ساعات آفتابی و رطوبت نسبی ماهیانه در شکل ۱ ارائه شده است.

این پژوهش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طراحی و اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل: چهار سطح آبیاری شامل ۵۵، ۷۰، ۸۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در کرت‌های اصلی و سه تاریخ کاشت ۲۰ اسفند، ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت در کرت‌های فرعی بود.

پس از آماده‌سازی زمین در اواخر مهر کرت‌هایی به ابعاد ۵×۳ متر تهیه و کاشت غده‌های سیب‌زمینی با فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر و به عمق ۱۰ سانتی‌متر در تاریخ کاشت‌های مربوطه انجام شد. هر کرت شامل شش خط کشت به طول سه متر بود. در این مطالعه رقم سیب‌زمینی بذری سانته استفاده شد. کرت‌های

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

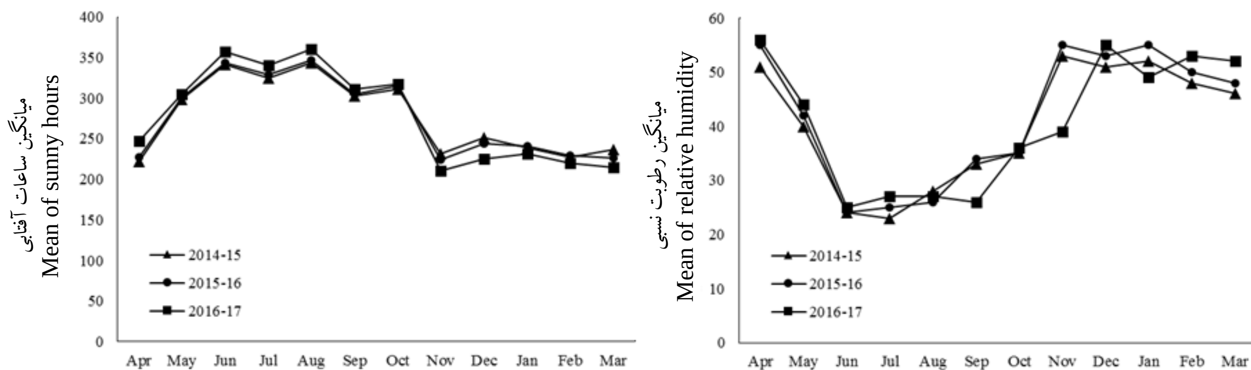
Table 1. Physico-chemical properties of the soil of experimental site at 0-30 cm depth

سال Year	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS m^{-1})	اسیدیته pH	بافت Texture	ظرفیت مزرعه (٪) Field capacity (%)	نقطه پژمردگی دایم (٪) Permanent wilting point (%)	ماده آلی (٪) Organic matter (%)	نیتروژن کل (٪) Total nitrogen (%)	فسفرقابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available phosphorous (mg kg^{-1})	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available potassium (mg kg^{-1})
2014-15	0.78	7.14	Loamy	24.5	8.1	1.13	0.146	14.33	320.8
2015-16	0.52	7.25	sily	23.8	8.5	1.42	0.163	16.02	304.7

جدول ۲- میانگین دما و مقدار بارش ماهانه در دوره ۱۳۹۶-۱۳۹۳

Table 2. Monthly mean of temperature and precipitations in 2014-2017

Year سال	April	May	June	July	August	September	October	November	December	January	February	March	Sum جمع
						Temperature (ºC) دما (سانتی‌گراد)							
2014-15	19.4	24.4	30.3	32.6	30.8	27.3	21.5	11.1	8.8	8.5	9.7	12.6	-
2015-16	20.3	25.1	31.3	31.7	30.7	25.9	21.7	12.3	7.5	7.2	9.6	14.1	-
2016-17	14.6	26.1	29.9	33.2	29.7	27.7	21.1	14.0	11.2	8.9	8.0	12.5	-
						Pericipitation (mm) بارش (میلی‌متر)							
2014-15	34.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	63.8	0.0	28.0	43.5	55.0	224.9
2015-16	0.0	8.4	0.0	3.8	0.0	4.0	8.0	71.6	62.6	41.8	6.4	18.4	225.0
2016-17	13.2	4.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	7.8	3.6	22.3	134	97.6	282.9



شکل ۱- میانگین رطوبت نسبی ماهانه و ساعات آفتابی برای سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶ برای محل آزمایش
Fig. 1. Monthly mean of relative humidity and sunny hours for experimental site in 2014-17

آزمایشی بلافاصله پس از کاشت با سامانه آبیاری نواری آبیاری شدند. کود دهی بر اساس آزمون خاک (جدول ۱) انجام شد و شامل ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفات دی آمونیوم و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم بود.

از زمان کاشت تا سبز شدن سیب‌زمینی، آبیاری در حد ظرفیت مزرعه برای همه تیمارها انجام شد و تیمارهای کم آبیاری پس از سبزشدن اعمال گردید. میزان رطوبت خاک توسط مته‌های نمونه‌برداری از عمق‌های ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر ارزیابی شد که با برآورد میزان رطوبت خاک، حجم آب آبیاری تا رسیدن به حد تعیین شده برای تیمارها (۱۰۰ به عنوان شاهد، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی گیاه) محاسبه شد.

برای تعیین تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه مرجع از روش پنمن- مانتیث و به منظور تعیین نیاز آبی پتانسیل گیاه سیب‌زمینی (ET_{crop}) از فرمول

$$ET_{crop} = K_c\ (ET_0)$$

استفاده گردید. در این رابطه K_c: ضریب گیاهی و ET_0 : تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع می‌باشد.

برای محاسبه ET_0 از روش پنمن- فائو (فرمول زیر) استفاده شد.

$$ET_0 = 0.408\Delta\ (R_n - G) + \gamma(900/T + 273)\ U_2(e_s - e_a)/\ \Delta + \gamma\ (1+0.34U_2)$$

در این رابطه R_n : تابش خالص ورودی به سطح گیاه، G: شار گرمای خاک، T : میانگین روزانه دمای هوا، U_2 : میانگین روزانه سرعت باد، e_s: فشار بخار اشباع، ea: فشار بخار واقعی، e_s-e_a: کمبود فشار بخار اشباع، Δ : شیب منحنی فشار بخار و γ : ثابت سایکرومتری بود. برای تعیین ضریب گیاهی سیب‌زمینی از مقادیر پیشنهادی فائو استفاده شد که برای مراحل ابتدایی، میانی و نهایی به‌ترتیب ۰/۵، ۱/۱۵ و ۰/۷۵ است.

حجم آب آبیاری برای تاریخ‌های کاشت ۲۰

اسـفند، ۲۰ فـروردین و ۲۰ اردیبهشـت در سـطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز گیاه به‌ترتیب برابر بـا ۷۴۱۰، ۸۱۲۵ و ۸۲۲۰ مترمکعـب در هکتـار، در سـطح آبیاری ۸۵ درصد نیاز گیاه بـه‌ترتیب برابـر بـا ۶۱۱۰، ۶۶۲۰ و ۶۶۹۰ مترمکعـب در هکتـار، در سـطح آبیاری ۷۰ درصد نیاز گیاه بـه‌ترتیب برابـر بـا ۵۱۷۰، ۵۵۷۵ و ۵۶۳۰ مترمکعـب در هکتـار، و در سـطح آبیاری ۵۵ درصد نیاز گیاه بـه‌ترتیب برابـر بـا ۳۹۸۵، ۴۲۷۰ و ۴۳۲۵ مترمکعـب در هکتـار بـود. تـاریخ کاشت ۲۰ فروردین به‌عنوان تاریخ کاشت شـاهد در نظر گرفته شد.

رشد و عملکـرد بوتـه‌های سیـب‌زمینی از طریـق روند تغییـرات ارتفـاع بوتـه و وزن خشـک بوتـه در طول فصل رشد (از ۲۰ روز پس از کشـت تـا پایـان دوره رشـد بـا فاصـله‌ی زمـانی ۲۸ روز) و صـفات شاخص سطح بـرگ بـا دسـتگاه انـدازه‌گیری سـطح بـرگ (Delta-T Device)، تعـداد غـده در واحـد سطح، عملکرد بیولوژیک، عملکـرد غـده، شـاخص برداشـت و وزن غـده‌های ریـز، غـده‌های بـذری و غده‌های درشـت در انتهـای دوره آزمـایش ارزیـابی شد.

در انتهای فصل رشد یک مترمربع از هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای به‌صورت کف‌بر برداشت شـد. وزن خشک شاخساره بـا قـراردادن نمونـه‌ها در آون تهویه‌دار با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد بـه مـدت ۴۸ سـاعت به‌دسـت آمـد. شـاخص برداشـت از نسـبت عملکــرد غــده (وزن کــل غــده‌ها) بــه عملکــرد بیولوژیک (وزن خشک کل بوته در انتهـای فصـل) به‌دست آمد.

برای سایزبندی غده‌ها، غـده‌های کمتـر از چهـار گرم به عنوان غده ریز (غیربذری)، غده‌های بـا وزن ۴۰ تا ۶۰ گرم به عنوان غـده‌های بـذری و غـده‌های سـنگین‌تر از ۶۰ گـرم بـه‌عنوان غـده‌های درشـت (خوراکی و صنعتی) در نظر گرفته شد.

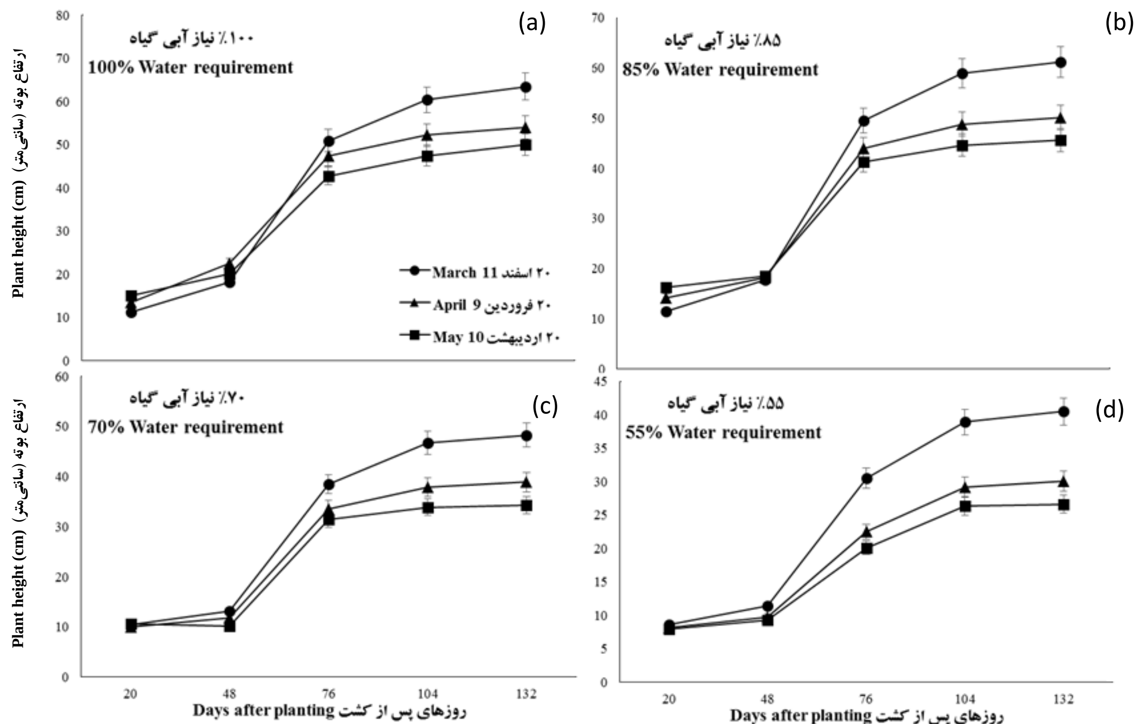
پس از انجام آزمـون همگنـی واریـانس، تجزیـه واریانس داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS انجام شـد و میانگین‌هـا بـا آزمـون LSD در سـطح احتمـال یـک درصد مقایسه شدند. ضرایب همبستگی بین صـفات با عملکرد توسط نرم افزار آماری SAS برآورد شد.

نتایج و بحث

روند رشد در طول فصل

نتایج نشان داد که ارتفاع بوته در کلیه تیمارها از ۲۲ تـا ۱۰۴ روز پـس از کشـت افـزایش معنـی‌داری داشت، ولی در فاصله بـین ۱۰۴ تـا ۱۳۲ روز پـس از کشت افـزایش معنـی‌داری در ارتفـاع بوتـه مشـاهده نشد (شکل ۲). بیشترین افزایش در فاصله بین ۴۸ تـا ۷۶ روز پـس از کاشـت بـود. بیشـترین ارتفـاع بوتـه مربوط به تـاریخ کاشـت ۲۰ اسـفند بـود کـه بـه‌طور معنـی‌داری از سـایر تاریخ‌هـای کشـت بیشـتر بـود. به‌طوری که در ۱۳۲ روز پس از کاشت ارتفاع بوتـه در تیمارهای ۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبـی در تـاریخ کشـت ۲۰ اسـفند بـه‌ترتیب بـه میـزان ۲۶/۷، ۳۴/۲، ۴۰/۸ و ۵۲/۳ درصـد بیشـتر از تـاریخ کشـت ۲۰ اردیبهشت بود.

تنش محدویت آبی نیـز ارتفـاع بوتـه را در همـه تاریخ‌های کشت کاهش داد (شکل ۲)، که بیشـترین کاهش در تاریخ کاشت ۲۰ اردیبهشت مشاهده شد.



شکل ۲- تغییرات ارتفاع بوته در طول فصل رشد در تاریخ‌های مختلف کاشت و سطوح نیاز آبی.
میانگین‌های با همپوشانی یکسان بر اساس خطای استاندارد (±SE) تفاوت معنی‌دار ندارند.

Fig. 2. Variation in plant height during growing season at different planting dates and water requirement levels. Means with similar overlap are not significantly different based on ± SE

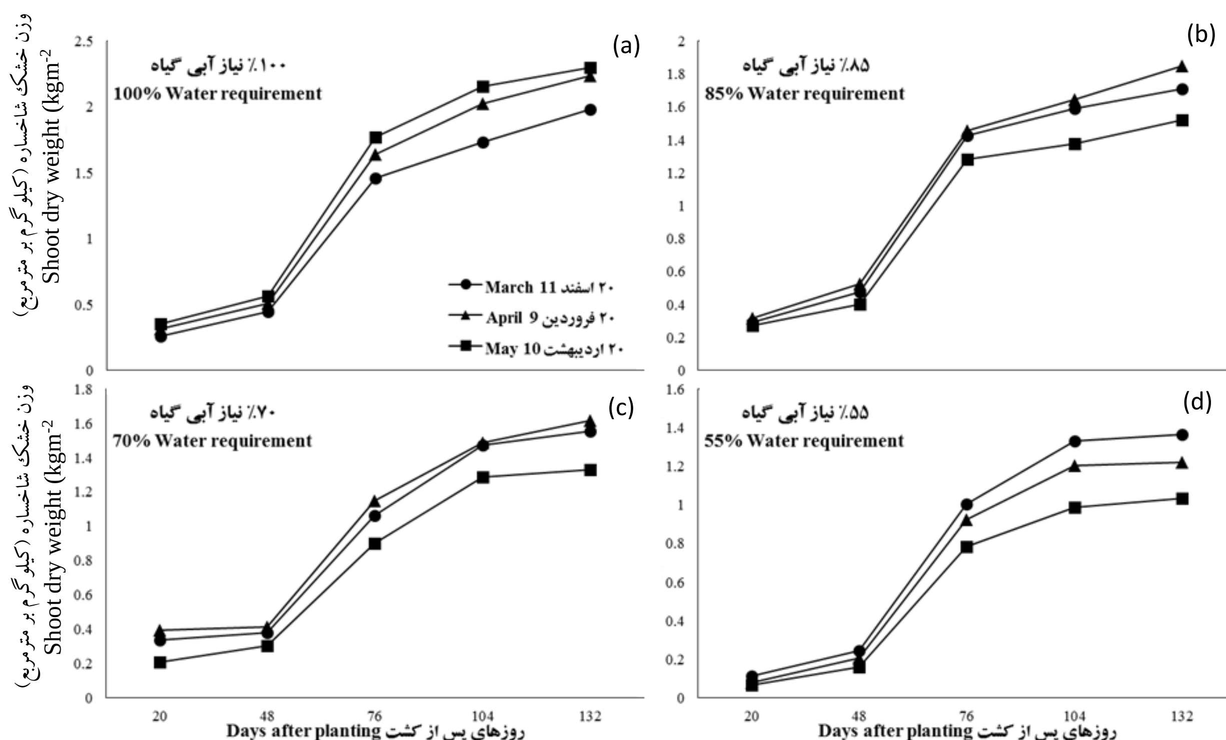
به‌نظر می‌رسد که تاریخ کشت ۲۰ اسفند از نظر پاسخ به تنش آبی وضعیت بهتری داشت، و تاثیر منفی تنش آبی در این تیمار کمتر بود. چنانچه، تاثیر منفی تنش محدویت آبی ۷۰ درصد نیاز آبی بر ارتفاع بوته در تاریخ‌های کشت ۲۰ اسفند، ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت به‌ترتیب ۲۳/۹، ۲۸/۱ و ۳۱/۵ درصد بود (شکل ۲).

رشد همه اندام‌های گیاه مانند ساقه در اثر سطوح مختلف تنش محدویت آبی کاهش می‌یابد. تنش آبی بالاتر از حدآستانه تحمل گیاهان باعث می‌شود که گیاه زودتر به حداکثر رشد طولی خود برسد و در نتیجه ارتفاع بوته کوتاه شود (Pirasteh-Anosheh *et al*., 2013). از سوی دیگر، در شرایط تنش به‌علت کاهش میزان آب در دسترس، تولید مواد پرورده و انتقال آن کاهش می‌یابد و در نتیجه ارتفاع بوته کوتاه می‌شود (Knezevic *et al*., 2018).

مرتضوی بک و امین‌پور (Mortazavi Bak and Aminpour, 2001) گزارش کردند شد که رشد بوته‌های سیب‌زمینی در تاریخ‌های کاشت نیمه دوم بهمن و اسفند بر سایر تاریخ‌های کاشت برتری داشت. در یک پژوهش دیگر (Siadat *et al*., 1999) نیز نشان داده شد که روند تغییرات رشد سیب‌زمینی در رقم‌های مختلف

نسبت به زمان از معادله درجه سوم پیروی کرد. بیشترین مقدار رشد بوته برای رقم‌های دراگا، آئولا و کاسموس حدوداً ۱۲۰ روز بعد از کاشت به‌دست آمد. سرعت رشد از ابتدای دوره رشد تا حدود ۹۰ روز پس از کاشت برای کلیه ارقام مورد مطالعه به‌صورت افزایشی بود و پس از آن تا حدود ۱۲۵ روز پس از کاشت روند سیر نزولی به خود گرفت و مجدداً سیر صعودی آن شروع شد.

وزن خشک شاخساره از ۴۸ روز پس از کاشت افزایش چشمگیری داشت (شکل ۳). بیشترین افزایش نیز مربوط به ۴۸ تا ۷۶ روز پس از کاشت بود. با این توضیح که در فاصله بین ۱۰۴ تا ۱۳۲ روز پس از کاشت افزایش بیشتری در شرایط آبیاری مطلوب نسبت به تیمارهای تنش آبی مشاهده شد. در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین رشد در همه زمان‌های نمونه‌برداری در تاریخ کاشت ۲۰ اردیبهشت و پس از آن ۲۰ فروردین مشاهده شد (شکل ۳). درحالی‌که در شرایط تنش آبی تاریخ کاشت ۲۰ اردیبهشت کمترین وزن خشک را داشت. بدین صورت که در سطح آبیاری ۸۵ و ۷۰ درصد نیاز آبی، بوته‌های سیب‌زمینی کاشته شده در ۲۰ فروردین و پس از آن در ۲۰ اسفند وزن خشک شاخساره بیشتری داشتند (شکل ۳).



شکل ۳- تغییرات وزن خشک شاخساره در طول فصل رشد در تاریخ‌های مختلف کشت و سطوح نیاز آبی. میانگین‌های با همپوشانی یکسان بر اساس خطای استاندارد (±SE) تفاوت معنی‌دار ندارند.

Fig. 3. Variation in shoot dry weight during growing season at different planting dates and water requirement levels. Means with similar overlap are not significantly different based on ± SE

تاریخ کشت ۲۰ اسفند علاوه بر اینکه در شرایط تنش آبی و به‌ویژه تنش شدید، وزن خشک شاخساره بیشتری را داشت، تاثیر منفی تنش آبی را نیز کاهش داد، به‌طوری‌که کاهش وزن خشک ناشی از تنش ۷۰ درصد نیاز آبی نسبت به آبیاری مطلوب، در تاریخ‌های کاشت ۲۰ اسفند، ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت به‌ترتیب برابر با ۲۱/۶، ۲۷/۹ و ۴۲/۱ درصد بود (شکل ۳). عوامل مختلف مدیریتی، مانند تاریخ کاشت، و محیطی مانند تنش کم آبی بسته به شدت تنش اثر کم تا خیلی زیادی بر روی روند تغییرات وزن خشک اندام‌ها دارد.

سبحانی و حمیدی (Sobhani and Hamidy, 2014) گزارش کردند که حداکثر ماده خشک ساقه در ۱۸۰۰ درجه روز رشد، حداکثر ماده خشک ریشه در ۱۶۰۰ درجه روز رشد و حداکثر ماده خشک برگ در ۱۵۰۰ درجه روز رشد به‌دست آمد. روند تغییرات میزان رشد در ابتدای دوره رشد کند می‌باشد و برای دو تا سه هفته بعد از غده‌زایی به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد و سپس برای چند هفته به‌صورت خطی افزایش یافته و با رسیدن به حد نهایی خود، کاهش می‌یابد (Hou *et al*., 2010).

روند نزولی تغییرات درصد ماده خشک قسمت‌های هوایی در اواخر دوره رشد به دلیل کاهش رشد رویشی گیاه و غده و تجمع بیشتر مواد غذایی در غده‌ها می‌باشد (Mousapour-Gorji and Hassanabadi, 2012). تنش آبی قبل از تشکیل غده‌ها بر روی رشد رویشی و تجمع ماده خشک اثر می‌گذارد ولی بعد از غده‌زایی بر عملکرد و کیفیت غده تأثیر خواهد گذاشت (Begum *et al*., 2015). تنش کم آبی باعث کاهش تولید ماده خشک کل گیاه و نیز نسبت ماده خشک اختصاص یافته به غده‌ها می‌شود. تنش آبی بسته به رقم و شرایط محیطی اختصاص مواد به اجزای گیاهی را تغییر داد و به‌طورکلی میزان اختصاص مواد به ساقه‌ها و ریشه‌ها و نیز نسبت ریشه به ساقه را افزایش داد (Sobhani and Hamidy, 2014).

عملکرد و اجزای عملکرد غده

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطح آبیاری بر کلیه صفات بجز شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین اثر تاریخ کشت و برهمکنش سطح آبیاری × تاریخ کاشت نیز بر کلیه صفات معنی‌دار بود. با توجه به این‌که اثر سال و برهمکنش آن با تیمارها معنی‌دار نشد، بنابراین از میانگین دو سال برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

نتایج نشان داد که سطح آبیاری کمتر از ۸۵ درصد نیاز آبی، شاخص سطح برگ سیب‌زمینی را با تنش آبی مواجه می‌کند، به‌طوری که تفاوت معنی‌داری بین ۱۰۰ و ۸۵ درصد نیاز آبی وجود نداشت، ولی آبیاری ۷۰ و ۵۵ درصدی نیاز آبی گیاه به‌ترتیب با ۲۷/۰ و ۴۸/۲ درصد کاهش در میانگین شاخص سطح برگ همراه بود (جدول ۴). از سوی دیگر، میانگین شاخص سطح برگ در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند بیشتر بود، ولی تفاوت معنی‌داری بین دو تاریخ کاشت ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت مشاهده نشد (جدول ۴). برهمکنش

جدول ۳- تجزیه واریانس داده‌ها برای عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی در تاریخ کاشت‌های مختلف و سطوح نیاز آبی

Table 3. Analysis of variance for tuber yield and its components of potato in different planting dates and water requirement levels

S.O.V.	منبع تغییر	درجه آزادی df.	Mean squares میانگین مربعات							
			شاخص سطح برگ Leaf area index	تعداد غده در مترمربع Tuber number m^{-2}	عملکرد غده Tuber yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	وزن غده‌های ریز Small tubers weight	وزن غده‌های بذری Seed tubers weight	وزن غده‌های درشت Large tubers weight
Year (Y)	سال	1	1.025^{ns}	1.250^{ns}	114.25^{ns}	152.25^{ns}	91.22^{ns}	0.558^{ns}	14.25^{ns}	11.23^{ns}
Y (R)	سال (بلوک)	4	1.251	2.014	154.69	158.94	102.14	1.069	55.1	16.08
Irrigation (I)	آبیاری	3	5.92**	4.02*	893.75**	549.67*	80.21^{ns}	3.42*	238.22**	51.27*
Y × I	سال × آبیاری	3	0.221^{ns}	0.667^{ns}	25.69^{ns}	144.29^{ns}	50.07^{ns}	0.554^{ns}	20.31^{ns}	7.21^{ns}
Error a	خطای کرت اصلی	12	0.547	0.741	95.65	101.25	70.13	0.667	22.37	9.12
Planting date (PD)	تاریخ کاشت	2	1.261*	1.368*	382.36**	278.69**	256.90*	2.154**	124.83**	37.23*
PD × I	تاریخ کاشت × آبیاری	6	1.236*	1.605*	403.69**	196.31*	308.60*	2.14**	120.87**	56.82**
PD × Y	تاریخ کاشت × سال	2	0.114^{ns}	0.105^{ns}	47.58^{ns}	15.69^{ns}	33.02^{ns}	0.075^{ns}	3.12^{ns}	8.70^{ns}
PD × I × Y	تاریخ کاشت × آبیاری × سال	6	0.054^{ns}	0.099^{ns}	22.14^{ns}	1.91^{ns}	18.09^{ns}	0.020^{ns}	11.02^{ns}	5.65^{ns}
Error	خطا	32	0.256	0.311	45.66	42.55	53.83	0.333	13.67	7.87
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات		12.06	11.74	17.9	12.04	10.65	16.74	19.60	18.17

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns: غیر معنی‌دار.

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

ns: Not- significant.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر اصلی نیاز آبی و تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد غده سیب‌زمینی

Table 4. Mean comparison of the main effects of water requirement and planting date on tuber yield and its components of potato

		شاخص سطح برگ Leaf area index	تعداد غده در مترمربع Tuber number m^{-2}	عملکرد غده (تن در هکتار) Tuber yield (ton ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک (تن در هکتار) Biological yield (ton ha^{-1})	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
		Water requirement (%) نیاز آبی (درصد)				
100		5.29a	6.00a	49.52a	71.29a	69.24a
85		4.89ab	5.55ab	44.07b	61.00b	71.75a
70		3.86b	4.44b	35.48c	50.50c	70.03a
55		2.74c	3.00c	21.93d	34.01d	64.53a
		Planting date تاریخ کاشت				
March 11	۲۰ اسفند	5.07a	5.42a	45.01a	61.55a	72.06a
April 9	۲۰ فروردین	3.99b	4.75ab	36.89b	54.21b	67.60b
May 10	۲۰ اردیبهشت	3.52b	4.09b	31.36c	46.83c	66.99b

میانگین‌هایی، در هر ستون و برای هر عامل، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

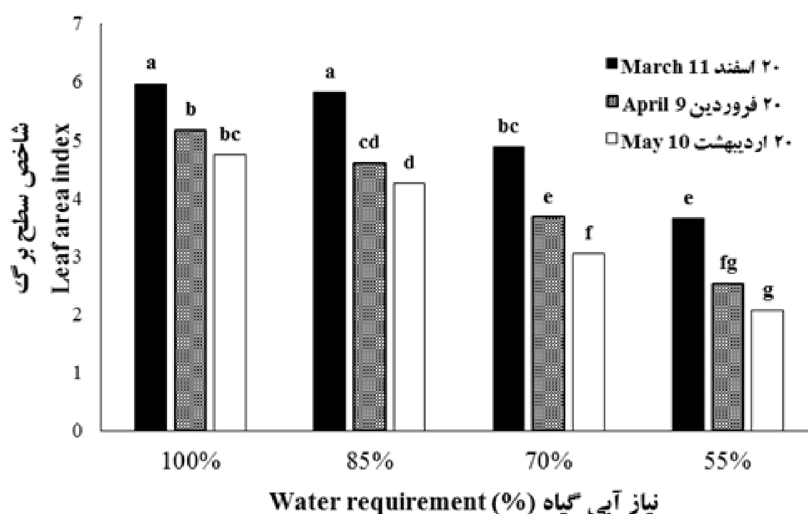
Means, in each column and for each factor, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 1% probability level- using LSD Test.

توجه: تاریخ کاشت ۲۰ فروردین به عنوان تاریخ کاشت شاهد در نظر گرفته شد.

Note: Planting on April 9 was considered as control.

سطوح آبیاری × تاریخ کاشت نشان داد که در کلیه سطوح آبیاری بیشترین شاخص سطح برگ مربوط به تاریخ کاشت ۲۰ اسفند بود (شکل ۴). بجز در سطح آبیاری ۷۰ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری بین تاریخ‌های کشت ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت مشاهده نشد. نتایج نشان داد که در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند سطح آبیاری ۸۵ درصد نیاز آبی اثر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ نداشت، ولی در سایر تاریخ‌های کشت کاهش حجم آب آبیاری از ۱۰۰ به ۸۵ درصد نیاز آبی با کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ همراه بود که با کاهش آبیاری به ۷۰ و ۵۰ درصد نیاز آبی این کاهش شاخص سطح برگ تشدید شد. به‌طورکلی، بیشترین شاخص سطح برگ در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند در سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۸۵ درصد نیاز آبی به‌ترتیب برابر با ۵/۹۶ و ۵/۸۱ به‌دست آمد (شکل ۴).

سطح برگ نسبت به تنش کم آبی حساس می‌باشد و حتی بیشتر از فتوسنتز و تنفس تحت تأثیر قرار می‌گیرد. تنش علاوه بر کاهش توسعه برگ از طریق ریزش برگ‌ها و پیری آن‌ها در مراحل رشد بر شاخص سطح برگ اثر می‌گذارد (Arya *et al*., 2017). گزارش شده است که دوام سطح برگ، تعداد برگ و شاخص سطح برگ با عملکرد همبستگی مثبت دارند (Papadavid *et al*., 2015). در پژوهش حاضر نیز مشخص شد که شاخص سطح برگ با عملکرد غده همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r = ۰/۸۶۶^{**}$) داشت (جدول ۵).



شکل ۴- اثر سطوح متفاوت آبیاری بر شاخص سطح برگ سیب‌زمینی در سه تاریخ کاشت. ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Fig. 4. Effect of different irrigation levels on leaf area index (LAI) of potato in three planting dates. Columns with at least one letter in common are not significantly different at the 1% probability level- using LSD Test.

با کاهش میزان آب، بسته به رقم، حداکثر دوام سطح برگ، تعداد برگ و شاخص سطح برگ و کل ماده خشک تولیدی سیب‌زمینی کاهش یافت. سبحانی و حمیدی (Sobhani and Hamidy, 2014) گزارش کردند که حداکثر شاخص سطح برگ در تیمار بدون تنش ۴/۸، و در تیمارهای تنش آبی بسیار ملایم، ملایم، شدید و بسیار شدید به ترتیب ۲/۴، ۲/۴، ۱/۳ و ۰/۶ بود. معمولاً همبستگی خوبی بین عملکرد غده سیب‌زمینی و دوام سطح برگ وجود دارد و با توسعه سریع‌تر سطح برگ و مرگ دیرهنگام آن عملکرد غده افزایش می‌یابد (Mousapour-Gorji and Hassanabadi, 2012). برخی از محققان بر این عقیده‌اند که عملکرد غده سیب‌زمینی بیش از شاخص سطح برگ به دوام سطح برگ ارتباط دارد (Kumari *et al*., 2011). پژوهشگران دیگری نیز ابراز داشتند در مرحله رشد رویشی، رابطه بین میزان رشد محصول سیب‌زمینی و سطح برگ تولید شده تا زمانی که شاخص سطح برگ به نزدیک پنج برسد خطی می‌باشد (Papadavid *et al*., 2011; Sandmann *et al*., 2013). در پژوهش حاضر نیز همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد بیولوژیک و شاخص سطح برگ ($r = ۰/۸۹۶^{**}$) نشان داده شد (جدول ۵).

میانگین تعداد غده در مترمربع گیاه سیب‌زمینی تحت تاثیر سطوح آبیاری ۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی نسبت به ۱۰۰ درصد کاهش

جدول ۵- ضرایب همبستگی میان خصوصیات مختلف سیب‌زمینی تحت تاثیر سطوح نیاز آبی و تاریخ کاشت‌های مختلف

Table 5. Correlation coefficient among different characteristics of potato as affected by different water requirement levels and planting dates

Characteristic	خصوصیت	**(1)**	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Plant height (Cm) (1)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) (۱)	1.000								
Leaf area index (2)	شاخص سطح برگ (۲)	0.893**	1.000							
Tuber number in m^2 (3)	تعداد غده درمترمربع (۳)	0.897**	0.879**	1.000						
Tuber yield (tha^{-1}) (4)	عملکرد غده (تن در هکتار) (۴)	0.866**	0.866**	0.923**	1.000					
Biological yield (tha^{-1}) (5)	عملکرد بیولوژیک (تن در هکتار) (۵)	0.859**	0.896**	0.904**	0.918**	1.000				
Harvest index (%) (6)	شاخص برداشت (درصد) (۶)	0.643*	0.654**	0.612**	0.702*	0.607*	1.000			
Small tubers weight (tha^{-1}) (7)	وزن غده‌های ریز (تن در هکتار) (۷)	-0.566	-0.683	-0.886**	-0.861**	-0.736*	-0.614*	1.000		
Seed tubers weight (tha^{-1}) (8)	وزن غده‌های بذری (تن در هکتار) (۸)	0.646	0.676	0.833**	0.907**	0.843**	0.767*	-0.834**	1.000	
Large tubers weight (tha^{-1}) (9)	وزن غده‌های درشت(تن در هکتار) (۹)	0.607	0.703	0.928**	0.942**	0.868**	0.518	-0.815**	0.805**	1.000

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.
ns: غیر معنی‌دار.

* and** : Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.
ns: Not- significant.

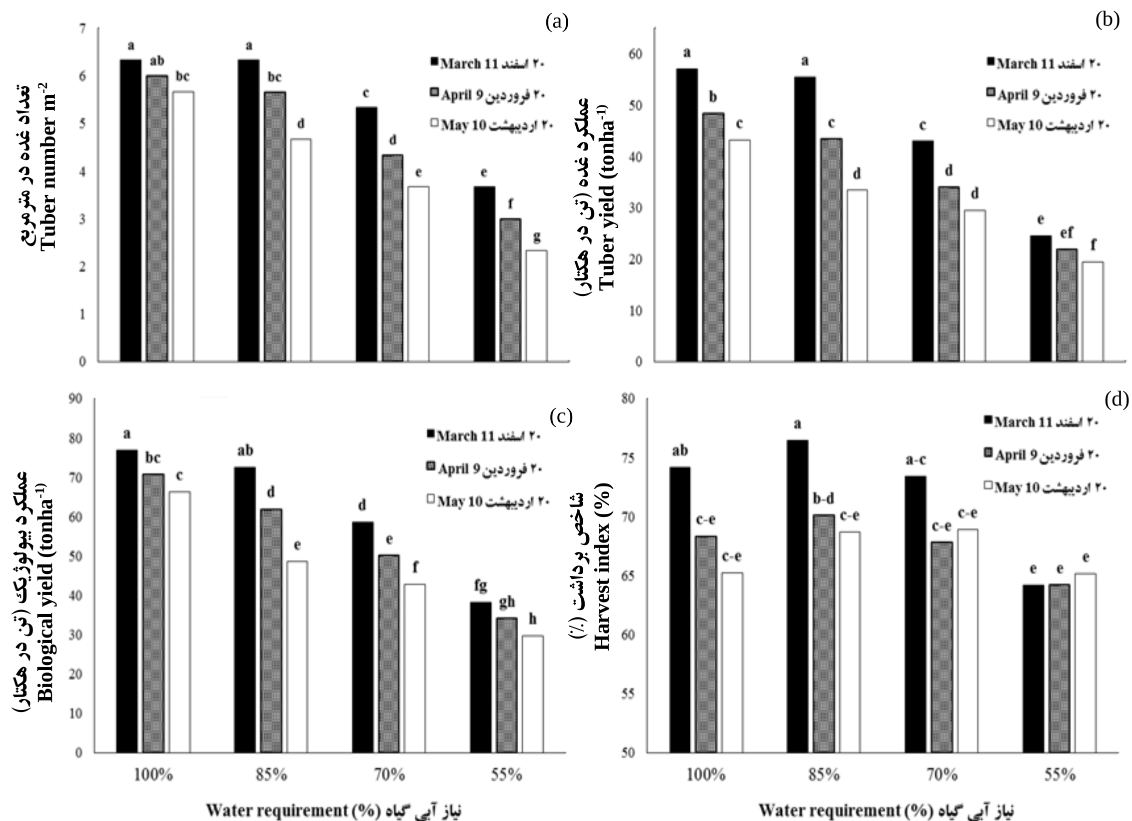
معنی‌داری داشت (جدول ۴)، ولی در شرایط ۸۰ درصد نیاز آبی بدون تغییر ماند. تعداد غده در مترمربع بوته‌های سیب‌زمینی در شرایط ۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی به‌ترتیب به میزان ۲۵/۹ و ۵۰/۰ درصد نسبت به آبیاری مطلوب کمتر بود. تفاوت معنی‌داری بین تاریخ‌های کاشت از نظر تعداد غده در واحد سطح وجود داشت، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین تعداد غده به‌ترتیب در تاریخ‌های کاشت ۲۰ اسفند و ۲۰ اردیبهشت به‌دست آمد (جدول ۴). البته تفاوت معنی‌داری بین تاریخ‌های کاشت ۲۰ اسفند و ۲۰ فروردین مشاهده نشد.

در شرایط بدون تنش و تنش ۸۵ درصد نیاز آبی تاریخ‌های کاشت ۲۰ اسفند و ۲۰ فروردین تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۵)، ولی با تشدید تنش آبی تعداد غده در واحد سطح در تاریخ کاشت ۲۰ فروردین کاهش قابل توجهی نشان داد و تفاوت معنی‌داری با تاریخ کاشت ۲۰ اسفند داشت، با این وجود از تاریخ کاشت ۲۰ اردیبهشت در کلیه سطوح آبیاری تعداد غده بیشتری داشت. تاریخ‌های مختلف کاشت بر روی درصد کاهش تعداد غده نیز تاثیرگذار بود، به‌طوری‌که تعداد غده در مترمربع در شرایط ۵۵ نسبت به ۱۰۰ درصد نیاز آبی در تاریخ‌های ۲۰ اسفند، ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت به‌ترتیب ۴۲، ۵۰ و ۵۹ درصد کمتر بود.

مطالعات نشان داده است که سیب‌زمینی به کمبود رطوبت خاک بسیار حساس است (Rezaei and Soltani, 2014; King *et al*., 2003). این مورد به دلیل نظام ریشه‌ای محدود و کم عمق آن می‌باشد، زیرا تقریباً ۸۵ درصد از طول ریشه این گیاه در لایه ۳۰ سانتی‌متری بالای سطح خاک قرار دارد (Onder *et al*., 2005). سیب‌زمینی به وجود رطوبت کافی در خاک طی تمام دوره رشد نیازمند می‌باشد، و بالاترین دوره حساسیت به آبی آن زمانی است که غده‌ها در حال رشد سریع هستند (King *et al*., 2003).

شیری جناقرد (Shiri Janagard *et al*., 2007) نشان دادند که از نظر تعداد غده در بوته بین آبیاری کامل و ۸۰ درصد آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و ۶۰ درصد آبیاری کامل کمترین تعداد غده را داشت. در مرحله غده‌زایی، سرعت رشد گیاه با رشد غده‌ها ارتباط پیدا کرده و رابطه آن با شاخص سطح برگ معکوس می‌شود (Sandmann *et al*., 2013).

کاهش تعداد غده در تاریخ‌های کاشت دیرتر احتمالاً ناشی از افزایش دما در زمان تولید غده می‌باشد (Arji *et al*., 2012). از طرفی هرچه کاشت با تاخیر صورت گیرد، دوره رشد بوته‌ها مواجه با طول روز بلند و دمای بالا می‌شود که تاثیر منفی در غده‌زایی دارد، زیرا افزایش دما بیش از ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد برای تولید غده سیب‌زمینی مناسب نمی‌باشد (Begum *et al*., 2015). دم و همکاران (Dam *et al*., 1996) با بررسی اثر طول روز و دماهای روزانه و شبانه بر تعداد غده در دو رقم



شکل ۵- اثر سطوح متفاوت آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد غده سیب‌زمینی در سه تاریخ کاشت.
ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Fig. 5. Effect of different irrigation levels on tuber yield and yield components of potato in three planting dates. Columns with at least one letter in common are not significantly different at the 1% probability level- using LSD Test.

سیب‌زمینی اسپونتا و دزیره بیان کردند که در اغلب موارد دماهای میانگین پایین (۱۵ تا ۱۹ درجه سانتی‌گراد) به‌همراه طول روز کوتاه (۱۲ ساعت) باعث رشد زود هنگام غده‌ها شدند. در چنین شرایطی، آغاز رشد و پرشدن غده‌ها زودتر انجام شده و میزان اختصاص ماده خشک به غده و میزان رشد خالص غده بیشتر می‌گردد. تعداد غده بیشتر منجر به عملکرد غده بیشتر نیز خواهد شد، همچنان که در پژوهش حاضر این دو صفت با یکدیگر همبستگی مثبت و معنی‌داری ($r = ۰/۹۲۳^{**}$) داشتند (جدول ۵).

نتایج این پژوهش نشان داد که حتی در شرایط تنش ملایم نیز عملکرد غده کاهش یافت (جدول ۴). عملکرد غده سیب‌زمینی در سطوح آبیاری ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی نسبت به شرایط بدون تنش (۱۰۰ درصد نیاز آبی) به‌ترتیب به میزان ۱۱/۰، ۲۸/۴ و ۵۵/۷ درصد کمتر بود. از سوی دیگر تاریخ‌های کاشت نیز از نظر عملکرد غده با

یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشتند (جدول ۴). بیشترین و کمترین عملکرد غده به‌ترتیب در تاریخ‌های کاشت ۲۰ اسفند و ۲۰ فروردین به‌دست آمد.

بیشترین عملکرد غده در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند به دست آمد (شکل ۵). در شرایط بدون تنش و تنش ملایم (۸۵ ٪ نیاز آبی) عملکرد غده در تاریخ کاشت ۲۰ فروردین از ۲۰ اردیبهشت بیشتر بود، ولی با تشدید تنش (۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی) کاهش عملکرد غده در تاریخ کاشت ۲۰ فرودین بیشتر شد و در این شرایط تفاوت معنی‌داری بین تاریخ‌های کاشت ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت مشاهده نشد.

تاریخ کاشت بهینه علاوه بر افزایش عملکرد غده، کاهش عملکرد ناشی از تنش آبی را نیز کمتر کرد، به‌طوری‌که عملکرد غده در سطح آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی نسبت به آبیاری مطلوب در تاریخ‌های کاشت ۲۰ اسفند، ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت به‌ترتیب ۲۴/۷، ۲۹/۷ و ۳۱/۷ درصد بود. به‌طورکلی بیشترین عملکرد غده معادل ۵۷/۱ تن در هکتار از تاریخ کاشت ۲۰ اسفند در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد.

تنش کم آبی باعث کاهش عملکرد غده و میانگین وزن غده‌ها می‌شود. سیب‌زمینی به دلیل داشتن ریشه‌های کم پشت، نازک و قدرت جذب کمتر آب از خاک، گیاهی است که عملکرد و اجزای آن نسبت به تنش آبی عکس‌العمل نشان می‌دهد. علت کاهش عملکرد غده در بوته با کاهش آبیاری می‌تواند کاهش تعداد غده و میانگین وزن هر غده باشد. بیشتر بودن تعداد غده در بوته نمی‌تواند الزاماً دلیل بالا بودن عملکرد باشد، چون ممکن است تعداد غده بیشتر موجب تشدید رقابت در بین غده‌ها برای دریافت مواد پرورده شد و در نتیجه اندازه غده‌ها کوچک می‌ماند (Shiri Janagard *et al.*, 2007). در آزمایش حاضر مشخص شد که عملکرد غده با کلیه صفات اندازه‌گیری شده بجز وزن غده‌های ریز و دمای سایه‌انداز، همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت (جدول ۵). بیشترین همبستگی بین عملکرد غده و به وزن غده‌های درشت ($r = ۰/۹۴۲^{**}$) بود.

تفاوت عملکرد غده سیب‌زمینی در تاریخ‌های کاشت مختلف می‌تواند ناشی از واکنش به شرایط آب و هوایی باشد.کاهش عملکرد در تاریخ‌های کاشت دیرتر (۲۰ اردیبهشت در پژوهش حاضر) به دلیل کوتاه شدن دوره رشد سیب‌زمینی بود که در نتیجه آن رشد گیاه کامل نشد و میزان عملکرد غده کاهش یافت (Tang *et al.*, 2018b). کاهش رطوبت نسبی هوا و افزایش دما در طی روز در طول فصل رشد منجر به متاثر شدن رشد و تولید غده کمتر و جلوگیری از بزرگ شدن غده در گیاهان می‌شود که در نهایت منجر به کاهش عملکرد در تاریخ‌های کاشت دیرتر می‌گردد (Arji *et al.*, 2012).

در پژوهش حاضر نیز مشخص شد که تاریخ‌های کشت ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت دارای تعداد غده در واحد سطح کمتر، وزن غده‌های ریز بیشتر و وزن غده‌های بذری و درشت کمتر بود. این نتایج با یافته‌های ساجدی و همکاران

(Sajedi *et al.*, 2009) که بیان داشتند که تاریخ کاشت زودتر عملکرد بهتری داشت در یک راستا بود. آنها گزارش کردند که عملکرد غده در تاریخ کاشت ۳۱ اردیبهشت (۱۹/۵ تن در هکتار) نسبت به تاریخ‌های کشت ۱۷ خرداد و ۳۱ خرداد بیشتری بود.

عملکرد بیولوژیک در همه سطوح تنش آبی کاهش معنی‌داری داشت و کاهش آن با تشدید تنش افزایش یافت (جدول ۴). سطوح آبیاری برای ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی به‌ترتیب با کاهش ۱۴/۴، ۲۹/۲ و ۵۲/۳ درصدی عملکرد بیولوژیک همراه بودند. تاریخ‌های کاشت نیز عملکرد بیولوژیک متفاوتی داشتند، که تفاوت آن‌ها معنی‌دار بود (جدول ۴). تاریخ‌های کاشت ۲۰ اسفند و ۲۰ فروردین به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین میانگین عملکرد بیولوژیک بودند.

برهمکنش سطح آبیاری × تاریخ کاشت نیز نشان داد که در کلیه سطوح آبیاری بیشترین عملکرد بیولوژیک در تاریخ کشت ۲۰ اسفند به دست آمد (شکل ۵). کمترین تفاوت بین تاریخ‌های کاشت در شرایط بدون تنش به‌دست آمد، ولی با ایجاد تنش آبی تاریخ‌های کاشت تفاوت بیشتری از خود نشان دادند. اثر تنش آبی سطح ۷۵ درصد نیاز آبی نسبت به آبیاری مطلوب بر عملکرد بیولوژیک در تاریخ‌های کشت ۲۰ اسفند، ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت به‌ترتیب برابر با ۲۳/۹، ۲۹/۱ و ۳۵/۳ درصد بود (شکل ۵).

عملکرد بیولوژیک کمتر سیب‌زمینی در تاریخ‌های کاشت دیرتر به‌دلیل کوتاه‌تر شدن دوره رشد و در نتیجه کوتاه‌تر شدن دوره تولید مواد پرورده بود. در تاریخ کاشت دیرتر زمان غده‌زایی گیاه سیب‌زمینی نیز با شرایط نامساعد آب و هوایی بویژه دمای بالاتر، رطوبت نسبی کمتر هوا و رطوبت کمتر خاک مواجه شده و رشد گیاه کمتر می‌شود (Tang *et al.*, 2018b). دارابی (Darabi, 2007a) اثر تاریخ‌های کاشت ۱۰ اردیبهشت، ۲۵ اردیبهشت و ۹ خرداد بر عملکرد سیب‌زمینی را بررسی و گزارش کرد که بیشترین عملکرد غده در تاریخ کاشت ۲۵ اردیبهشت به‌دست آمد. دارابی (Darabi, 2007b) اعلام کرد که با توجه به احتمال وقوع یخبندان در دوره رشد در اواخر پاییز و اوایل زمستان، کشت زمستانه بر کشت پاییزه برتری داشت.

عملکرد بیولوژیک که شامل وزن کلیه قسمت‌های گیاه می‌باشد، در اثر تنش آبی کاهش یافت که با کاهش ارتفاع بوته، رشد برگ‌ها، تعداد و وزن غده‌ها در ارتباط بود. همبستگی بین عملکرد بیولوژیک و ارتفاع بوته ($r = ۰/۸۵۹^{**}$)، شاخص سطح برگ ($r = ۰/۸۹۶^{**}$)، تعداد غده ($r = ۰/۹۰۴^{**}$) و عملکرد غده ($r = ۰/۹۱۸^{**}$) مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۵). با کاهش آب قابل دسترس گیاهان، عملکرد بیولوژیک همه گیاهان زراعی از جمله سیب‌زمینی کاهش می‌یابد. حداکثر تولید سیب‌زمینی زمانی اتفاق می‌افتد که رطوبت خاک در حد بهینه باشد (Sobhani and Hamidy, 2014).

شاخص برداشت نسبت به سایر صفات اندازه‌گیری شده واکنش کمتری به سطوح آبیاری

و تـاریخ کاشـت نشـان داد (جـدول ۴). شـاخص برداشت در سطوح مختلف آبیاری تفاوت معنـی‌دار نداشـت. تـاریخ کاشـت ۲۰ اسـفند دارای بیشـترین میـانگین شـاخص برداشـت بـود، ولـی تفـاوت معنی‌داری بین تاریخ‌های کشت ۲۰ فـروردین و ۲۰ اردیبهشت مشاهده نشد (جدول ۴).

در شـرایط بـدون تـنش و تنش‌هـای ملایـم و متوسط (۸۵ و ۷۰ درصد نیاز آبی) شاخص برداشـت در تاریخ کشت ۲۰ اسفند بیشتر بود (شکل ۵)، ولـی در تنش شدید (۵۵ ٪ نیاز آبی) تفاوتی بین هیچکدام از تاریخ‌های کشت مشاهده نشـد. در کلیـه شـرایط آبی شاخص برداشت تاریخ کاشـت ۲۰ فـروردین و ۲۰ اردیبهشـت یکسـان بودنـد. بیشـترین شـاخص برداشت در تاریخ کاشـت ۲۰ اسـفند در شـرایط ۸۵ درصد نیاز آبی برابر با ۷۶/۴ درصد به‌دست آمد.

اندازه غده‌های سیب‌زمینی

تنش محدودیت آبی موجـب افـزایش غـده‌های ریـز و کـاهش غـده‌های بـذری و درشـت گردیـد (جـدول ۶). تیمارهـای ۱۰۰ و ۸۵ درصـد نیـاز آبـی بـدون تفـاوت معنـی‌دار بـا یکـدیگر دارای بیشـترین غده‌های بذری و تیمار ۱۰۰ درصد نیـاز آبـی دارای بیشـترین غـده‌های درشـت بـود. تـاریخ کاشـت ۲۰ اسـفند دارای کمتـرین غـده‌های ریـز و بیشـترین غـده‌های بـذری و درشـت بـود کـه وزن غـده‌های درشـت در تاریخ‌هـای کاشـت ۲۰ اسـفند بـا ۲۰ فروردین تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶).

تقریبـاً در کلیـه سـطوح آبیـاری کمتـرین وزن غـده‌های ریـز و بیشـترین وزن غـده‌های بـذری و درشـت در تـاریخ کاشـت ۲۰ اسـفند به‌دسـت آمـد (جدول ۶). اثر تنش آبی در تاریخ کشت ۲۰ اسـفند کمتر بود، به‌عنوان مثال سـطح آبـی ۷۰ درصـد نیـاز آبی با افزایش ۶۶/۷ درصدی وزن غـده‌های ریـز در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند همراه بود که در تاریخ‌هـای کشـت ۲۰ فـروردین و ۲۰ اردیبهشـت بـه‌ترتیب بـه ۸۷/۶ و ۸۶/۳ درصد افزایش یافت (جدول ۶).

تغییـرات آب و هـوایی بـر روی سـیب‌زمینی و سایزبندی غده‌های آن بیشتر از هر گیاه دیگری تاثیر می‌گذارد (Tang *et al*., 2018b). روزهای کوتاه و درجـه حـرارت معتـدل بـویژه دمـای پـایین در شـب‌ها شـروع غـده‌زایی را تحریـک می‌کنـد (Onder *et al*., 2005). اگر درجه حرارت در شـب بـالاتر از ۲۰ درجـه بـاقی بمانـد غـده‌زایی شـروع نخواهد شـد، زیـرا تـنفس را افـزایش داده و ذخیـره کربوهیـدرات‌ها را تخلیـه می‌کنـد و رشـد غـده آهسته‌تر می‌شود (Knezevic *et al*., 2018).

در تاریخ‌هـای کاشـت ۲۰ فـروردین و ۲۰ اردیبهشت نسبت به ۲۰ اسـفند، بـا افـزایش دمـا، رطوبـت نسـبی هـوا (بـه‌طور میـانگین ۵۵، ۵۱ و ۴۴ بـه‌ترتیب در اسـفند، فـروردین و اردیبهشـت) کاهش یافت (شکل ۱). کاهش رطوبـت نسـبی هـوا در اثر افزایش دما در این دو تاریخ کاشت منجـر بـه جلـوگیری از رشـد غـده‌ها شـده و در نتیجـه از بزرگ‌شـدن غـده‌ها جلـوگیری کـرد (Arji *et al*., 2012).

کوتاه‌تر شدن طول دوره رشـد، فرصـت مناسـب برای رشد کامل غده‌ها را فراهم نمی‌کند و در نتیجه غـده‌های بـذری و درشـت کمتـر و غـده‌های ریـز

جدول ۶- اثر سطوح آبیاری بر وزن غده‌های سیب‌زمینی در سه تاریخ کاشت مختلف

Table 6. The effect of irrigation levels on tuber weight of potato in different planting dates

نیاز آبی (٪) Water requirement (%)	Planting Date	تاریخ کاشت	Tuber weight ($tonha^{-1}$) وزن غده		
			غده‌های ریز Small tubers	غده‌های بذری Seed tubers	غده‌های درشت Large tubers
100	March 11	۲۰ اسفند	1.38g	34.81a	20.88c
	April 9	۲۰ فروردین	1.93f	21.18de	25.22a
	May 10	۲۰ اردیبهشت	2.62e	20.82e	19.73cd
85	March 11	۲۰ اسفند	1.34g	31.53b	22.61b
	April 9	۲۰ فروردین	2.40e	23.05cd	17.90de
	May 10	۲۰ اردیبهشت	3.76d	16.79f	12.83f
70	March 11	۲۰ اسفند	2.30ef	24.06c	16.61e
	April 9	۲۰ فروردین	3.62d	17.29f	13.08f
	May 10	۲۰ اردیبهشت	4.88b	13.11g	11.50fg
55	March 11	۲۰ اسفند	4.32c	9.65h	10.54g
	April 9	۲۰ فروردین	6.17a	7.42hi	8.31h
	May 10	۲۰ اردیبهشت	6.65a	6.68i	6.05h

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 1% probability level- using LSD Test.

تاریخ کاشت ۲۰ فروردین به عنوان تاریخ کاشت شاهد در نظر گرفته شد.

Planting on April 9 was considered as control.

بیشتر می‌شود (Tang *et al.*, 2018a). این عوامل باعث شدند که در تاریخ کاشت ۲۰ فروردین و بویژه ۲۰ اریبهشت وزن غده‌هایی که رشد کافی نکرده بودند (غده ریز) زیادتر بود، و وزن غده‌ها با رشد مناسب (غده بذری) کمتر شد. مرتضوی بک و امین‌پور (Mortazavi Bak and Aminpour, 2001) نشان دادند که در تاریخ‌های کاشت دیرتر درصد غده‌های تولیدی با قطر کمتر از ۳۵ میلی‌متر بیشتر بود.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط تنش آبی اهمیت تاریخ کاشت بیشتر بود، بدین‌صورت که در شرایط بدون تنش تفاوت بین تاریخ‌های کاشت حداقل بود، ولی در شرایط تنش آبی تفاوت ها بیشتر شد. این تفاوت ایجاد شده به‌دلیل کاهش بیشتر ناشی از تنش آبی در رشد و عملکرد غده سیب‌زمینی در تاریخ‌های کاشت ۲۰ فروردین و ۲۰ اردیبهشت بود که نشان‌دهنده بهبود تحمل به تنش در تاریخ کاشت مناسب (۲۰ اسفند) بود. بنابراین تاریخ مناسب کاشت بین ۲۰ اسفند تا ۲۰ فروردین توصیه می‌شود. اگر در این دوره توصیه شده محدودیت آب آبیاری وجود داشته باشد (۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد نیاز آبی) انتظار می‌رود که به‌طور میانگین، به‌ترتیب حدود ۷، ۲۷ و ۵۶ درصد کاهش

عملکرد اتفاق بیفتد.

به‌نظر می‌رسد به‌دلیل استفاده بهتر از بارش‌های زمستانه و اوایل بهار، دمای کمتر در اوایل فصل رشد و در نتیجه تبخیر کمتر و همچنین دمای مناسب‌تر در زمان غده‌زایی و در نتیجه افزایش عملکرد غده‌های سیب‌زمینی، تاریخ کشت ۲۰ اسفند بویژه در شرایط تنش آبی برای شرایط مشابه این پژوهش بهترین تاریخ کاشت باشد.

سپاسگزاری

نگارندگان از مدیریت محترم بخش زراعت و اصلاح نباتات و همچنین کارکنان زحمتکش ایستگاه زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز که ما را در انجام و ارتقاء کیفیت این پژوهش یاری دادند، سپاسگزاری می‌کنند.

References

Anonymous. 2018. Statistical Yearbook of Agriculture 2016-17. Field Crops. Ministry of Jihad-e-Agriculture. Tehran, Iran. 124 pp. (in Persian).

Anonymous. 2019. Food and Agriculture Organization. online available at: www.faostat.org.

Arji, I., Miri, S., and Abdosi, V. 2012. An investigation into effect of planting date on quantitative and qualitative traits of some potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars in Ghasre Shirin. Journal of Plant Production 35: 43-54.

Arya, S., Rawal, S., Luthra, S. K., Sharma, N., Gupta, V. K., and Kadian, M. S. 2017. Participatory evaluation of advanced potato (*Solanum tuberosum*) clones for water stress tolerance. Indian Journal of Agricultural Sciences 87: 143-148.

Begum, F., Kundu, B. C., and Hossain, M. I. 2015. Physiological analysis of growth and yield of potato in relation to planting date. Journal of Bangladesh Academy of Sciences 39: 45-51.

Dam, J. V., Kooman, P. L., and Struik, P. C. 1996. Effects of temperature and photoperiod on early growth and final number of tubers in potatoes (*Solanum tuberosum L.*). American Potato Journal 39: 51-62.

Darabi, A. 2007a. Effects of planting density and harvesting date on yield and yield components of some potato cultivars in Behbahan. Seed and Plant 23: 233-244 (in Persian).

Darabi, A. 2007b. Effects of autumn and winter planting and temperature stress on total yield, marketable yield and yeild components of some potato cultivars. Seed and Plant 23: 373-385 (in Persian).

Emam, Y., and Seghatoleslami, M. J. 2011. Crop yield, physiology and processes. Shiraz University Publication. Shiraz, Iran. 593 pp. (In Persian).

Hou, X. Y., Wang, F. X., Han, J. J., Kang, S. Z., and Feng, S. Y. 2010. Duration of plastic mulch for potato growth under drip irrigation in an arid region of Northwest China. Agricultural and Forest Meteorology 150: 115-121.

Khajepour, M. R. 2014. Principles of agronomy. 3th Edition. Jihad-Daneshgahi of Industrial University of Isfahan. Isfahan, Iran. 685 pp. (in Persian).

King, B. A., Stark, G. C., and Love, S. 2004. Potato production with limited water supplies. Agricultural Experiment Station Publications. Idaho, USA. 325 pp.

Knezevic, M., Zivotic, L., Cerekovic, N., Topalovic, A., Kokovic, N., and Todorovic, M. 2018. Impact of climate change on water requirements and growth of potato in different climatic zones of Montenegro. Journal of Water and Climate Change 9: 657-671.

Kumari, S. 2011. Influence of drip irrigation and mulch on leaf area maximization, water use efficiency and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). Journal of Agricultural Science 4: 71-80.

Mortazavi Bak, A., and Aminpour, R. 2001. Effects of season and planting depth on the yield characteristics of commercial potato cultivars. Seed and Plant 17: 95-106. (in Persian)

Mousapour-Gorji, A., and Hassanabadi, H. 2012. Analysis of growth and variation in trend of some traits of potato cv. Agria in different planting dates. Seed and Plant Improvement 28: 208-287. (in Persian).

Onder, S., Caliskan, M., Onder, D., and Caliskan, S. 2005. Different irrigation methods and water stress effects on potato yield and yield components. Agriculture Water Management 73: 73-86.

Papadavid, G. C., Hadjimitsis, D. G., Toulios, L., and Michaelides, S. 2011. Mapping potato crop height and leaf area index through vegetation indices using remote sensing in Cyprus. Journal of Applied Remote Sensing 5: 526-530.

Pirasteh-Anosheh, H., Emam, Y., and Pessarakli, M. 2013. Changes in endogenous hormonal status in corn (*Zea mays*) hybrids under drought stress. Journal of Plant Nutrition 36: 1695-1707.

Rawson, H. M. 2000. Irrigated wheat, managing your crop. FAO. Rome, Italy. 95 pp.

Rezaei, A., and Soltani, A. 2014. Potato cultivation. Jihad-Daneshgahi of Mashhad. Mashhad, Iran. 180 pp. (in Persian).

Sajedi, N., Sheikh Alivand, S., Madani, H., and Safari Kamalvand, H. 2009. Effect of planting date and nitrogen rates on agronomic traits of potato cv. Markinez Modern Finding in Agriculture 3: 287-301.

Sandmann, M., Graefe, J., and Feller, C. 2013. Optical methods for the non-destructive estimation of leaf area index in kohlrabi and lettuce. Scientia Horticulturae 156: 113-120.

Shiri Janagard, M., Tobeh, M., Asghari Zakaria, R., Nour-Ganbalani, G., and Dehdar Masjedlo, B. 2007. The effects of different levels of drip irrigation and cultivation pattern on yield and yield components of the Agria potato. Pajouhesh and Sazandegi 75: 149-157. (in Persian).

Shock, C. C., and Feibert, E. B. G. 2002. Deficit irrigation on potato. Pp. 47-55. In: Kirda, C. (ed.) Deficit irrigation practices. FAO. Rome, Italy.

Siadat, S. A., Dezfoli, S. A., Valizadeh, M., and Sadeghzade Hemayati, S. 1999. Growth analysis of three potato cultivars in different planting pattern and plant density. Iranian Agricultural Sciences 30: 279-386.

Sobhani, A., and Hamidy, H. 2014. Evaluating of yield and growth indices of potato as affected by different water deficit levels, Iranian Journal of Field Crops Research 12: 283-295. (in Persian).

Tang, J., Wang, J., Fang, Q., Wang, E., Yin, H., and Pan, X. 2018a. Optimizing planting date and supplemental irrigation for potato across the agro-pastoral ecotone in North China. European Journal of Agronomy 98: 82-94.

Tang, J., Wang, J., Wang, E., Yu, Q., Yin, H., He, D., and Pan, X. 2018b. Identifying key meteorological factors to yield variation of potato and the optimal planting date in the agro-pastoral ecotone in North China. Agricultural and Forest Meteorology 256: 283-291.

Wang, F., Kang, Y., Liu, S., and Hou, X. 2007. Effects of soil matric potential on potato growth under drip irrigation in the North China Plain. Agriculture Water Management 88: 34-42.